

## Arbeitsgedächtnis und experimentelle Physikaufgaben

- Vorstellung einer Masterarbeit -

Torsten Franz\*, Caroline Steib\*, Tobias Frie\*, Alexander Strahl<sup>†</sup>

\*Technische Universität Braunschweig, IFdN, Abt. Physik & Physikdidaktik,

<sup>†</sup>Universität Salzburg, School of Education, AG Didaktik der Physik

[torsten.franz@tu-braunschweig.de](mailto:torsten.franz@tu-braunschweig.de), [c.steib@tu-braunschweig.de](mailto:c.steib@tu-braunschweig.de), [tobias\\_frie@yahoo.de](mailto:tobias_frie@yahoo.de),

[alexander.strahl@sbg.ac.at](mailto:alexander.strahl@sbg.ac.at)

### Kurzfassung

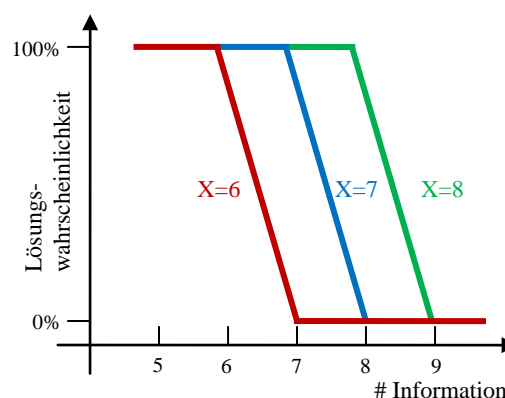
Ein wichtiger Faktor für das Lösen von physikalischen Aufgaben scheint die Belastung des Arbeitsgedächtnisses zu sein (vgl. z.B. [1-5]). In der hier vorgestellten Masterarbeit wurde untersucht, inwieweit ein Zusammenhang zwischen dem Arbeitsgedächtnis von Studierenden und deren Erfolg beim Lösen von experimentellen Aufgaben unterschiedlicher Komplexität besteht. Die Untersuchung ergab, dass Studierende mit geringer Arbeitsgedächtniskapazität eine geringere Wahrscheinlichkeit beim Lösen von komplexen experimentellen Aufgaben hatten als solche mit großer Arbeitsgedächtniskapazität.

### 1. Einleitung

Es gibt verschiedene Faktoren, welche die Schwierigkeit einer gegebenen Aufgabe für einen Probanden bestimmen. Ein Ansatz zu deren Charakterisierung ist die Untersuchung von Lernressourcen (*resources framework*), zu denen das Langzeit- und das Arbeitsgedächtnis zählen (vgl. Abs. IV in [1] und dort angegebene Referenzen). Das Arbeitsgedächtnis beschreibt hierbei, wie viele ungeordnete Stücke von Information (engl. *chunks*) gleichzeitig behalten werden können. Untersuchungen des Arbeitsgedächtnisses sind schon recht lange bekannt und die erwartete Kapazität des Arbeitsgedächtnisses liegt bei einem Erwachsenen bei  $7 \pm 2$  [6].

In den Naturwissenschaften wurde der Einfluss des Arbeitsgedächtnisses auf das Lösen von Aufgaben zuerst von Johnstone im Kontext von Chemieaufgaben untersucht [3, 4]. Hierbei wurde ein einfaches Modell aufgestellt: Falls eine Aufgabe eine bestimmte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses zur Lösung erfordert, können nur die Probanden die Aufgabe lösen, welche mindestens über die geforderte Kapazität verfügen. Wir haben einen solchen idealen Verlauf in Abbildung 1 skizziert. Hier sieht man, wie die erwartete Lösungswahrscheinlichkeit für einen Kandidaten mit der benötigten Anzahl an Informationen zusammenhängt. Wichtig ist, dass der Abfall der Lösungswahrscheinlichkeit an der Stelle auftritt, an der die Gedächtniskapazität erreicht ist.

Im Kontext der Physik wurde eine Untersuchung mit Physiklehramtsstudierenden beim Lösen von Textaufgaben durchgeführt, bei der sich ähnliche Ergebnisse wie bei den Untersuchungen von Johnstone ergeben [2, 5, 7].



**Abb. 1:** Erwartete Lösungswahrscheinlichkeit gegen Anzahl an Information. Dieser ideale Verlauf würde sich ergeben, wenn die Aufgabenschwierigkeit ausschließlich von der Gedächtniskapazität bestimmt wäre.

### 2. Unsere Studie

In unserer Studie [8] wurde untersucht, in wieweit ähnlich Ergebnisse auch beim Bearbeiten von experimentellen Aufgaben zu finden sind. Hierzu wurde eine Untersuchung mit 11 Studierenden der TU Braunschweig durchgeführt. Alle Teilnehmer und Teilnehmerinnen studierten 2-Fächer-Bachelor, mit dem Studienziel Lehramt an Haupt- oder Realschule, im 4. bis 6. Fachsemester. Die Studierenden haben verschiedene experimentelle Aufgaben zu Lösen bekommen und zusätzlich wurde zur Bestimmung der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ein „digit span backwards“-Test (DSB-Test, vgl. [4]) durchgeführt.

Die Studierenden hatten insgesamt 6 experimentelle Stationen plus den DSB-Test zu bearbeiten. Hierfür hatten sie für jede der Stationen 10 Minuten Bearbeitungszeit. Die Zeit wurde so gewählt, um die

Durchführung der Untersuchung innerhalb eines 90 Minuten Blockes zu ermöglichen. Gleichzeitig wurden versucht, die Aufgaben so zu gestalten, dass beim Bearbeiten kein Zeitdruck entsteht. Die Studierenden bekamen jeweils einen aufgebauten Versuch mit einer kurzen schriftlichen Aufgabe. Sie waren dazu angehalten, ihr Vorgehen bei der Lösung der Aufgabe möglichst genau zu dokumentieren. Die Komplexität der Aufgabe und die Korrektheit der Bearbeitung wurden anhand einer Musterlösung festgelegt.

Sämtliche Aufgaben befassten sich mit dem Themenfeld „klassische Mechanik“. Ziel bei der Auswahl der Versuche war, dass allen Studierenden der physikalische Inhalt bekannt sein sollte, und somit die Schwierigkeit der Aufgabe allein von der experimentellen Komplexität bestimmt sein sollte. Hier nach sortiert hatten sie folgende Themen:

- Komplexität 3 Der Flaschenzug
- Komplexität 4 Die schiefe Ebene
- Komplexität 5 Der zweiseitige Hebel
- Komplexität 6 Die Federkonstante
- Komplexität 7 Der vollelastische Stoß
- Komplexität 8 Das Fadenpendel

Die sechs Arbeitsblätter können online unter [9] eingesehen werden.

Zur Bestimmung der Komplexität wurde jeweils eine Musterlösung der Aufgabe betrachtet und folgende Kategorien zur Bestimmung der Arbeitsschritte herangezogen (nicht alle Teilschritte waren zur Lösung jeder Aufgabe nötig):

- a) Vorgehensweise planen
- b) Messwerte nehmen
- c) Messwerte bearbeiten
- d) Messwerte darstellen
- e) Messwerte interpretieren
- f) Darstellung interpretieren
- g) Beobachtung notieren
- h) Formel nachschlagen
- i) Formel umstellen
- j) Formel auswerten
- k) Ergebnis notieren

#### Beispielaufgabe:

Betrachten wir als Beispiel die Aufgabe „Die schiefe Ebene“ mit Komplexität 4. Hierzu wurden den Studierenden eine schiefe Ebene [10] mit variabler Neigung sowie zwei Holzklötze unterschiedlicher Größe zur Verfügung gestellt (siehe Abb. 2). Die gestellte Aufgabe lautet: „Untersuchen Sie die Auswirkung von Gewicht und Auflagefläche auf die Haftung eines Gegenstandes auf der schiefen Ebene.“

Die Musterlösung der Aufgabe sieht vier Teilschritte vor:

1. Vorgehen planen
2. Messwerte nehmen
3. Messwerte interpretieren
4. Ergebnisse notieren

Diese Aufgabe konnte von allen Probanden vollständig gelöst werden.

Um die Gedächtniskapazität der Teilnehmer zu bestimmen wurde der „digit span backwards“ – Test verwendet (vgl. [4]). Bei diesem Test wird eine zufällige Zahlenfolge einer gewissen Länge vorgelesen, und die Testperson soll die Folge dann in umgekehrter Reihenfolge wiedergeben. Liest die Testperson beispielsweise die Folge „5-9-1“ vor, so sollte die Testperson „1-9-5“ antworten. Wenn dies dreimal hintereinander gelingt, werden Folgen mit einer Ziffer mehr vorgelesen, solange bis die Testperson dreimal in Folge einen Fehler macht. Die Gedächtniskapazität entspricht dann der Länge der zuletzt dreimal richtig wiederholten Zahlenfolgen.

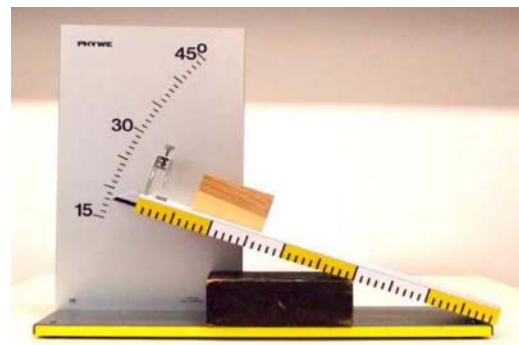


Abb. 2: Foto des Versuchsaufbaus „Die schiefe Ebene“.

### 3. Ergebnisse

Bei der Bestimmung der Gedächtniskapazität ergab sich die Verteilung in Abbildung 3. Dies entspricht einer mittleren Gedächtniskapazität von 6,5, was einen vergleichsweise hohen Wert unter Berücksichtigung von Alter und Ausbildung der Studierenden darstellt [vgl. 11].

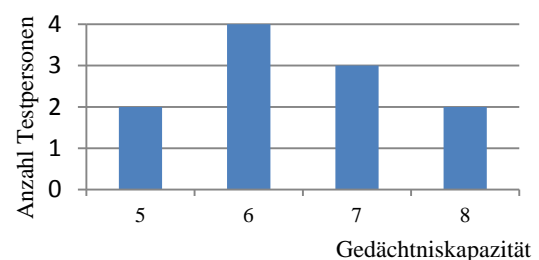
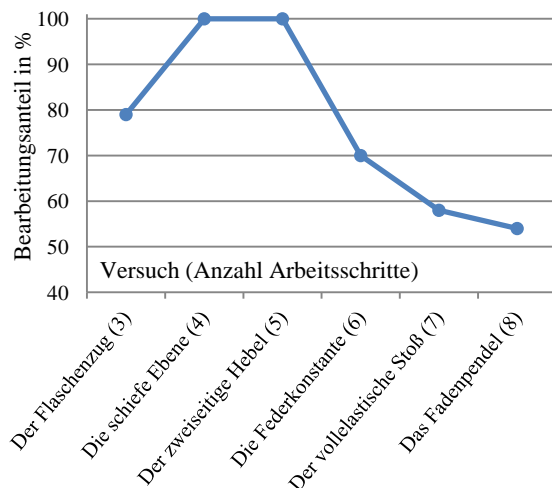


Abb. 3: Ergebnisse der DSB-Tests zur Gedächtniskapazität der Testpersonen.

Betrachtet man nun zunächst das Gesamtergebnis der Untersuchung in Abbildung 4, ergibt sich größtenteils ein Bild, welches mit den Erwartungen übereinstimmt. Mit Ausnahme der Aufgabe „Flaschenzug“ nimmt die Lösungswahrscheinlichkeit stetig mit steigender Komplexität ab. Zwischen Komplexität 5 und 6 erkennt man einen deutlichen Abfall der

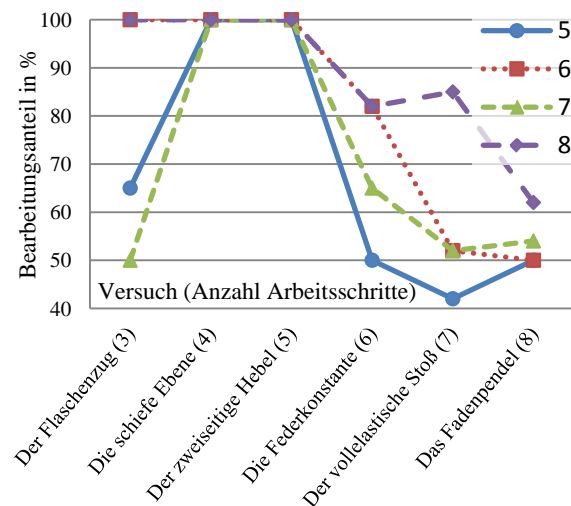
Bearbeitungsrate. Hierbei ist zu beachten, dass in dem Graphen die Ordinatenachse bereits bei 40% Bearbeitung beginnt, da sämtliche Studierende auch bei den komplexeren Aufgaben Teillösungen angegeben haben. Für den Vergleich bezüglich der Gedächtniskapazität sind die absoluten Werte hier nicht entscheidend.



**Abb. 4:** Gesamtergebnis aller Testpersonen für die verschiedenen Experimente, geordnet nach Komplexität der Experimente.

Weshalb die Aufgabe „Der Flaschenzug“ deutlich schwieriger für die Testpersonen zu lösen war als angenommen, konnte nicht abschließend geklärt werden. An den Auswertungen dieser Aufgabe war bemerkenswert, dass viele Testpersonen die Formeln zum Flaschenzug aus der Formelsammlung herausgesucht haben, obwohl diese zum Lösen der Aufgabe so nicht benötigt wurden. Hieraus kann man vermuten, dass eine höhere Unsicherheit bezüglich des richtigen Vorgehens vorlag, als bei den anderen Aufgaben, demnach neben der Komplexität eine zusätzliche Schwierigkeit beim Bearbeiten auftrat.

Betrachtet man nun den Bearbeitungsanteil gegen die Arbeitsschritte für die jeweiligen Gedächtniskapazitäten (Abb. 5), so erkennt man, dass sich die Verläufe für die verschiedenen Kapazitäten sichtbar unterscheiden. Die Kurve für Kapazität 5 zeigt den Abfall im Bearbeitungsanteil beim Übergang von 5 zu 6 Arbeitsschritten, während die Kurve für Kapazität 8 erst später und weniger steil abfällt. Die Kurven für Kapazitäten 6 und 7 befinden sich dazwischen. Diese Ergebnisse stimmen gut mit den Erwartungen überein. Jedoch sind die Kurven für die Kapazitäten 6 und 7 nicht erwartungsgemäß, da hier die Testpersonen mit Kapazität 6 bei der Frage mit Komplexität 7 erfolgreicher waren, als diejenigen mit Kapazität 7. Hier war genau das umgekehrte Verhalten zu erwarten gewesen.



**Abb. 5:** Ergebnis der Testpersonen geordnet nach ihrer Gedächtniskapazität.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

In unserer Studie wurde der Einfluss des Arbeitsgedächtnisses auf die Bearbeitung von experimentellen Aufgaben untersucht. Hierbei wurde eine Gruppe von 11 Lehramt-Bachelor Studierenden auf ihr Arbeitsgedächtnis getestet und dies mit ihrer Leistung beim Bearbeiten von 6 Aufgaben unterschiedlicher Komplexität verglichen. Es ergab sich eine (gute) Übereinstimmung mit der Erwartung, nämlich dass die Studierenden mit hoher Kapazität komplexere Aufgaben besser bewältigen konnten, als solche mit niedriger Kapazität.

Es zeigte sich, dass die Einteilung der Aufgaben nach den zu erwartenden Arbeitsschritten eine mögliche Methode zur Bestimmung ihrer Komplexität darstellt. Um die Verlässlichkeit dieser Aussage zu erhöhen sind aber weitere Untersuchungen notwendig, insbesondere ein Vergleich von verschiedenen Kodierpersonen. Bei der Auswahl der Versuche sollte zukünftig besser darauf geachtet werden, dass die Aufgaben dieselbe Vorinformation von den Testpersonen erfordert, insofern scheint die Aufgabe „Der Flaschenzug“ nicht geeignet für die erwartete Komplexität. Da die Gedächtniskapazität der Probanden zwischen 5 und 8 lag, wäre weiterhin ratsam beim nächsten Mal auf die Aufgabe mit Komplexität 3 zugunsten einer Aufgabe mit Komplexität 9 zu verzichten, um auch bei der Gruppe mit Kapazität 8 den Abfall der Bearbeitungskurve deutlich sehen zu können. Eine Wiederholung mit mehr Testpersonen könnte auch klären, ob das unerwartete Verhalten der Gruppen mit Kapazität 6 und 7 bei der Aufgabe „Die Federkonstante“ ein statistischer Fehler war oder ob die Komplexität der Aufgabe nicht korrekt bestimmt wurde.

Insgesamt zeigt sich, dass beim Bearbeiten von experimentellen Aufgaben das Arbeitsgedächtnis eine der wichtigen Ressourcen zu sein scheint. Hieraus kann gefolgert werden, dass es für Lehrpersonen bei der Erstellung experimenteller Aufgaben

ratsam ist, das Arbeitsgedächtnis der Lernenden im Blick zu behalten, um keine kognitive Überlastung hervorzurufen.

## 5. Literatur

- [1] Redish, E.F. (2014): Oersted Lecture 2013: How should we think about how our students think? In: American Journal of Physics, 82, 537
- [2] Chen, W.-C.; Whitehead, R. (2009) Understanding physics in relation to working memory. In: Research in Science & Technological Education, 27:2, 151-160
- [3] Johnstone, A.H. (1996): Chemistry teaching – Science or alchemy? In: Journal of Chemical Education, 74, 3, S. 262-268
- [4] Johnstone, A. H.; El-Banna, H. (1986): Capacities, demands and processes - a predictive model for science education. In: Education in Chemistry, 23, S. 80-84
- [5] Stindt, F.; Strahl, A.; Müller, R. (2014): Chunks in Chemie- und Physikaufgaben. In: PhyDid B, DD 15.12 (2014) <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/537/686>

Zusätze:

[http://www.strahl.info/veroeffentlichungen/2014\\_PhyDid\\_B\\_Chunks\\_in\\_Chemie\\_und\\_Physikaufgaben\\_Zusaetze.pdf](http://www.strahl.info/veroeffentlichungen/2014_PhyDid_B_Chunks_in_Chemie_und_Physikaufgaben_Zusaetze.pdf)

- [6] Miller, G. A. (1956): The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. In: Psychological Review (Vol. 101, No. 2), S. 343-352
- [7] Stindt, F. (2014): Chunks in physikalischen Aufgaben. Masterarbeit, TU Braunschweig
- [8] Steib, C. (2014): Komplexität in Experimenten. Masterarbeit, TU Braunschweig
- [9] Zusatz: [https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/ifdn-physik/Veroeffentlichungen-Franz/zusatz\\_arbeitsgedaechtnis.pdf](https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/ifdn-physik/Veroeffentlichungen-Franz/zusatz_arbeitsgedaechtnis.pdf)
- [10] Hersteller: Phywe, Göttingen, Nr. 11301.88
- [11] Gregoire, J.; Van Der Linden, M. (2007): Effects of age on forward and backward digit spans. In: Aging, Neuropsychology, and Cognition, 4:2, 140-149